

R e c e n z j a

rozprawy doktorskiej mgr inż. Karola Daligi nt.: *Ocena przemieszczeń i deformacji wybranych konstrukcji inżynierskich z zastosowaniem laserowej metody pomiarowej*

1. Podstawa opracowania recenzji

Niniejsza recenzja została opracowana na zlecenie dr. hab. inż. Joanny Żukowskiej, prof. nadzw. PG, Dziekana Wydziału Inżynierii Lądowej i Środowiska Politechniki Gdańskiej (pismo z dnia 23.09.2020 r.) realizujące uchwałę Rady Naukowej Dyscypliny Inżynierii Lądowej i Transportu na Politechnice Gdańskiej.

Celem recenzji jest ustalenie, czy rozprawa spełnia wymogi określone w art. 13 ust. 1. Ustawy z dnia 14 marca 2003 roku o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz.U. z 2003 r. nr 65. poz. 595 z późn. zm.).

2. Ogólna charakterystyka pracy

Przedmiotem oceny jest rozprawa doktorska nt.: *Ocena przemieszczeń i deformacji wybranych konstrukcji inżynierskich z zastosowaniem laserowej metody pomiarowej*, napisana przez mgr. inż. Karola Daligę pod kierunkiem dr. hab. inż. Zygmunta Kurałowicza, prof. Politechniki Gdańskiej.

Rozprawa jest ważnym pod względem użytecznym, a jednocześnie skrupulatnie przeprowadzonym studium możliwości oceny przemieszczeń (przesunięcie) lub deformacji (przesunięcie, obrót, zmiana skali) w oparciu o pomiar fotogrametryczny z wykorzystaniem punktów generowanych przez laser, po przejściu fali przez siatkę dyfrakcyjną. Takie podejście nakłoniło Autora do przeprowadzenia pogłębionej analizy wykorzystania światła laserowego w szeroko pojętych badaniach przemieszczeń konstrukcji inżynierskich. W pierwszym kroku opisał On zasady tworzenia światła laserowego chyba wszystkimi możliwymi sposobami, a także ich implementację pomiarową. W oparciu o ten przegląd sformułował cel i tezę własnych dociekań badawczych. Skupiają się one na ocenie deformacji określonych fragmentów konstrukcji budowlanych w oparciu o obserwację powierzchni, na którą rzutowana jest grupa punktów wygenerowanych przez źródło światła laserowego i układ siatek dyfrakcyjnych. Jako narzędzie pomiaru tych punktów Autor zaproponował własne rozwiązanie bazujące na fotogrametrycznym opracowaniu zdjęć tychże powierzchni po oświetleniu odpowiednio spreparowanym światłem laserowym – tak można sparafrazować zapisy celu i tezy pracy przedstawione w rozprawie.

Aby tak sformułowane cele osiągnąć Autor podzielił pracę na trzy rozdziały merytoryczne, obejmujące łącznie 191 stron, oraz rozdział „Podsumowanie i wnioski”. Pierwszy z rozdziałów merytorycznych dotyczy bardzo szczegółowej analizy bibliograficznej, w której Autor krótko scharakteryzował znaczną liczbę publikacji, w jakimkolwiek stopniu odnoszących się do wykorzystania w pomiarach diagnostycznych światła laserowego – czy to wygenerowanego przez klasyczny laser, czy przez urządzenia dalmiercze, czy w końcu przez modne ostatnio źródła światła typu LED, z opcjonalnym wykorzystaniem światłowodów i/lub siatek dyfrakcyjnych.

Kolejnym blokiem tematycznym jest drobiazgowy opis prac badawczych zrealizowanych w skali modelowej, w której analizie poddano wyniki pomiarów pochylenia (w zakresie 0-5°) specjalnie skonstruowanej platformy z wymienną ścianką wykonaną z różnych materiałów o mniejszej lub większej przepuszczalności światła. Uzyskane doświadczenia posłużyły do wykonania kolejnego bloku pomiarów mających na celu ich praktyczną weryfikację na obiektach fizycznych – były to przede wszystkim elementy elewacji ścian, komina, kratownicy oraz słupa. W tym miejscu okazało się zasadne to wszystko, co wykonano w badaniach modelowych, gdyż poddane badaniom powierzchnie charakteryzowały się cechami odbicia, rozproszenia i przepuszczalności światła zbliżonymi do wcześniej badanych próbek.

3. Ocena pracy pod względem warsztatu badawczego

Mimo może niezbyt na pierwszy rzut oka zrozumiałego opisu – czytelnik zostaje w pracy wprowadzony w ważką tematykę z zakresu pomiarów diagnostycznych, a dotyczącą pomiaru deformacji obiektów o powierzchni znacznie utrudniającej wykonanie poprawnego pomiaru z powodu przepuszczania, rozpraszania i ograniczonego odbicia promieni wiązki pomiarowej. Te właśnie utrudnienia nakłoniły Autora do poszukiwania własnego rozwiązania pomiarowego. W pierwszej kolejności zaplanował on i zrealizował własny pomysł badawczy. Pomysł o tyle twórczy, że nie ograniczył się do typowych rozwiązań pomiarowych, ale do wskazania własnej, zdaniem Autora właściwej drogi pomiarowej. A polega ona na fotogrametrycznym opracowaniu zdjęć badanych obiektów, na które rzutowano zbiór specjalnie spreparowanych punktów świetlnych.

Problematyka pomiarów diagnostycznych powierzchni o zróżnicowanych właściwościach oświetleniowych i refleksyjnych jest jednym z klasycznych problemów technicznych związanych z poprawną oceną parametrów geometrycznych takich obiektów jak kominy, mosty czy inne budowle nierównomiernie oświetlane. Do tego dochodzi sprawa kąta obserwacji i cała problematyka „ślizgania się” promieni wiązki pomiarowej po mierzonej powierzchni. W tym zakresie można zidentyfikować następujące problemy:

- a) przenikalność promieni przez materiał, z którego wykonana jest badana powierzchnia,
- b) odbicia od powierzchni o zróżnicowanej fakturze,
- c) rozpraszanie się, podwójne załamanie oraz „lustrzane” odbicie promieni,
- d) „rozmywanie się” punktu pomiarowego,

i podobne inne, natomiast z punktu widzenia określenia wielkości przemieszczeń – odpowiedni

dobór konstrukcji pomiarowej, wyrażającej dokładność pomiaru np. za pomocą wstęg wahań. Odniesienie się do wstęg wahań (albo elips błędów) wskazuje bowiem nie tylko wielkość, ale i orientację przestrzenną „niepewności pomiarowej”.

W tym miejscu zasadne wydaje się poddać dyskusji treść rozprawy.

W pierwszej kolejności sam jej tytuł, który jednoznacznie wskazuje na możliwość użycia proponowanej metody (poza deformacjami, które są bezdyskusyjne) w pomiarach przemieszczeń. Przemieszczenie, to zmiana położenia wybranych, reprezentatywnych punktów danej budowli lub konstrukcji. To zaś implikuje występowanie dwóch warunków: po pierwsze, że badane elementy konstrukcji są (lub mogą być) niestabilne, a po drugie – że są jednoznacznie identyfikowane. Znany jest sposób pomiaru przemieszczeń całych powierzchni za pomocą skaningu laserowego. Oczywiście możliwe jest wykorzystanie do tego celu technik fotogrametrycznych, ale brak sygnalizacji punktów jest znacznym utrudnieniem w tej materii, tym bardziej, że obecna technika opracowania zdjęć bazuje na (automatycznej) korelacji obrazów. To zaś wymaga, aby powierzchnia cechowała się jakakolwiek fakturą. W przypadku poddanych analizie powierzchni gładkich, odbijających lub przepuszczających światło brak tej faktury praktycznie wyklucza – w mojej ocenie – zastosowanie fotogrametrii. Wraca tutaj sprawa przedstawionego wprost w tytule pomiaru przemieszczeń. Wydaje się, a nawet jest pewne, że rejestrowanie ruchu powierzchni z rzutowaną na nią siatką punktów jest niepoprawnym podejściem, gdyż punkty te zmieniają swoje położenie między kolejnymi stanami obiektu. Oczywiście pozostaje tylko jedno podejście – poprzez każdorazowe modelowanie całej powierzchni w oparciu o pozyskaną chmurę punktów. Takie podejście Autor zastosował, co świadczy pozytywnie o drodze jego rozumowania, ale wprost tego nie opisał, a ponadto – nie wykonał żadnych badań mających wskazać na skuteczność tego podejścia w odniesieniu do poruszających się obiektów. Wszystkie jego badania odnoszą się do opisu położenia, a nie jego zmian w funkcji czasu (poprawnie – w funkcji zmian stanu obiektu). A można było taką próbę przeprowadzić podczas badań modelowych, oceniając wartości zmiany kąta między kolejnymi pochyleńmi płytki testowej. Nota bene, zachęcam Autora do podjęcia takiej analizy w ramach dalszego rozwoju metody.

Drugim dostrzegalnym przeze mnie problemem jest porównywanie wyników pomiarów metodami zaliczanymi do różnych kategorii. Różnica między podjętymi sposobami pomiaru – na co nie zwrócił uwagi Autor – polega na tym, że część metod pomiaru ma charakter *aktywny* (badana jest fala generowana w instrumencie pomiarowym), a część – *pasywny* (rejestrowane jest promieniowanie zewnętrzne odbijane przez obiekt). Podczas, gdy w przypadku aktywnym przejście wiązki pomiarowej przez obiekt wyklucza możliwość jego poprawnego pomiaru, to pomiar pasywny jest jak najbardziej możliwy. Pod warunkiem jednak, że zostanie przeprowadzona poprawna interpretacja uzyskanej „chmury punktów” (wykluczająca punkty innego pochodzenia). Tymczasem większość uzyskanych wyników zawiera w sobie także efekt wtórnego odbicia, połączonego niekiedy z przesunięciem równoległym wskutek dwukrotnego załamania promienia na granicy ośrodków. Remedium na te problemy miało być rzutowane światło laserowe, jednak ono jest także medium aktywnym, przenikającym przez rejestrowany

materiał przepuszczający światło. Rozwiązaniem stosowanym w klasycznych testach fotogrametrycznych jest „opryskanie” rejestrowanej powierzchni farbą (barwnikiem, nawet do późniejszego usunięcia) – wówczas bowiem możliwe jest skuteczne zastosowanie korelacji obrazów (co jest podstawą m.in. użytego tu oprogramowania Agisoft), stanowiącej podstawę późniejszego wnioskowania. Potwierdzeniem poprawności takiego podejścia są wyniki testu pokrytego zbiorem punktów – próbka g (BMW) zawsze (poza kilkoma niezrozumiałymi wyjątkami) prowadziła do wyników zgodnych z oczekiwaniem (tabela 3.15). Nota bene skłania do zastanowienia tak znaczne zróżnicowanie dokładności pomiarów (w ramach tej samej metody) kolejnych faz pochylenia płytki testowej w bardzo małym zakresie od 0° do 5° . Teoretycznie (zgodnie z doświadczeniem) kolejne wyniki powinny po pierwsze być do siebie zbliżone, a po drugie – być określone z podobną dokładnością (niepewnością)...

Ostatecznie wnioski z badań modelowych odnoszących się do powierzchni przepuszczającej światło nie wykazały skuteczności jakiegokolwiek z testowanych metod. Praktycznie dodatkowe oświetlenie próbek zaproponowanym przez Autora światłem laserowym nie wpłynęło na skuteczne rozwiązanie danego zadania pomiarowego. Można się było tego spodziewać.

Sam Autor we wnioskach stwierdził, że zastosowanie zaproponowanej metody przynosi ograniczone korzyści, i tylko w niektórych sytuacjach może prowadzić do poprawnego rozwiązania tam, gdzie inne metody zawodzą. W opinii recenzenta rozbieżności między poszczególnymi podejściami pomiarowymi są skutkiem występowania zewnętrznych źródeł błędów systematycznych (lub grubych) – różnych dla różnych metod – przy jednoczesnym pominięciu uwzględnienia, lub choćby identyfikacji tych błędów w danym podejściu.

Można w końcu mieć też wątpliwość, czy przyjęte przez Autora wytyczne odnośnie do stosowania metody fotogrametrycznej są poprawnie dobrane. Natomiast nie stanowią wątpliwości wskazówki co do zakresu i formy stosowania generatora punktów światła laserowego, szczególnie jeśli przedmiot pomiaru nie ma własnej, rozpoznawalnej tekstury.

4. Ocena jakości rozprawy

Rozprawa pana mgr inż. Karola Daligi p.t. „Ocena przemieszczeń i deformacji wybranych konstrukcji inżynierskich z zastosowaniem laserowej metody pomiarowej” jest opracowaniem wykonanym bardzo sumiennie i drobiazgowo. Badania praktyczne poprzedzono szczególnie skrupulatnym przeglądem literatury przedmiotu, obejmującym 118 pozycji w większym lub mniejszym stopniu powiązanych z tematyką wykorzystania laserów w diagnostyce budowli.

Całość badań obejmuje imponujący zakres wariantów zarówno w odniesieniu do rodzajów powierzchni jak i sposobów ich opracowania. Każdy z wariantów poddany jest formalnej analizie matematycznej, zawsze wspomaganą analizą niepewności (błędów), tak istotną z punktu widzenia geodezji i inżynierii. Na szczególną pochwałę zasługuje analiza niepewności, wykonana w sposób nowoczesny, świadomy i krytyczny. Przedstawione tu podejście może być wzorem do aktualizacji działu geodezji określanej dotąd jako „rachunek błędów”.

Język rozprawy jest bardzo sformalizowany – z jednej strony jest to dość trudne do lektury, jednak bardzo czytelne i jednoznaczne przy porównywaniu różnych metod pomiarowych. To odnosi się także do analizy zaprezentowanych wykresów i tabel. Zarówno wykresy jak i tabele są bardzo czytelne i zrozumiałe. Autor nie stosuje żadnego „kamufażu”, lecz dzieli się swoimi wynikami nawet wówczas, gdy są one intuicyjnie złe. Chce w ten sposób przekazać pełną zgromadzoną wiedzę (doświadczenie) odnośnie do stosowania różnych technik względem różnych powierzchni. To można uznać za ważniejszy atut ocenianej pracy.

5. Ocena strony redakcyjnej

Oceniana rozprawa została wydana na Politechnice Gdańskiej, przyjmując formę tradycyjną – druk w sztywnej oprawie. Całość obejmuje 241 stron tekstu, obejmującego dwa streszczenia, spis treści, wykaz ważniejszych oznaczeń i definicji, bibliografię, spis rysunków oraz tabel. Każdy z omawianych przypadków jest szczegółowo przedstawiony, a jego wyniki podane w wersji graficznej i tabelarycznej; opracowano także tabele zbiorcze mające na celu możliwość porównania głównych wyników i oceny ich dokładności.

Widoczne jest staranie Autora o formę końcową i estetykę tekstu, gdyż jego układ, wielkość i rozmieszczenie rysunków oraz tabel są poprawne, czytelne i uporządkowane. W zasadzie wszystkie rysunki są zrozumiałe. Rysunki w skalach barwnych są wydrukowane w wysokiej jakości, co stwarza pozytywne wrażenie. Jedyne można mieć trudności w ocenie wielkości danego zjawiska w przypadku znacznego zróżnicowania zakresu skal barwnych, których nie zamieszczono przy kolejnych rysunkach.

Poza nielicznymi wyjątkami praca jest napisana czytelnym, zrozumiałym językiem, zatem może być polecana jako przewodnik dla wykonawców robót geodezyjnych, studentów a nawet osób nie związanych zawodowo z geodezją. W odniesieniu do jakości tekstu należy stwierdzić, że występują w nim błędy typu „literówki”, co znajduje też odzwierciedlenie w załączonej erracie obejmującej 60 pozycji. Wydaje się, że Autor niczego w niej nie pominął, co również świadczy o sumiennym podejściu do efektów swoich prac.

6. Ocena końcowa

Podsumowując niniejszą recenzję stwierdzam, że w celu rozwiązania podjętego tematu badawczego mgr inż. Karol Daliga zaplanował bardzo rozbudowany eksperyment badawczy, poprzedzając go pogłębioną analizą literatury. Eksperyment obejmuje zarówno testy laboratoryjne jak i ich weryfikację na licznych obiektach fizycznych. Charakterystyczne dla pracy podejście bezstronne, można powiedzieć – bez emocji wynikających z chęci pokazania się z jak najlepszej strony – może stanowić wzór dla licznych naśladowców takiego właśnie podejścia. Solidnie zostały wykonane poszczególne zadania cząstkowe przyjętej procedury badawczej, co doprowadziło do wygenerowania bogatej i wiarygodnej dokumentacji dla kolejnych pokoleń badaczy.

Niezależnie od zamieszczonych tu uwag i komentarzy stwierdzam, że Autor wykazał się dużą znajomością warsztatu badawczego, rzetelnością i właściwym poziomem naukowym. Przedłożona mi do recenzji praca ma bezspornie charakter badań o charakterze aplikacyjnym, a więc użytecznym dla szerokiego grona geodetów zajmujących się pomiarami diagnostycznymi budowli i konstrukcji.

Zarówno cel jak i teza pracy zostały sformułowane w sposób „miękki”, a zatem stosunkowo łatwy do osiągnięcia i dowiedzenia. Z pewnością można znaleźć grono osób, które nie będą zwolennikami pomiarów do punktów nie związanych na trwałe z badanym obiektem, ale jeśli już takiej sygnalizacji nie można zapewnić, to oznakowanie obiektu punktami laserowymi może stanowić jedyne logiczne rozwiązanie, czego też Autor starał się dowieść. W mojej opinii większej uwagi wymagałoby zastosowanie podejścia fotogrametrycznego – modyfikacja tego podejścia z pewnością przyczyniła by się do podniesienia jakości opracowań docelowych. Niemniej nie to było celem ocenianej pracy.

Konkluzja

W związku z powyższym stwierdzam, że przedstawiona rozprawa doktorska mgr inż. Karola Daligi „Ocena przemieszczeń i deformacji wybranych konstrukcji inżynierskich z zastosowaniem laserowej metody pomiarowej” przygotowana pod opieką promotora dr. hab. inż. Zygmunta Kurałowicza, prof. PG, spełnia warunki określone w art. 13 ustawy z dnia 14 marca 2003 r. o stopniach i tytule naukowym oraz o stopniach i tytule w zakresie sztuki (Dz. U. z 2003 r. nr 65 poz. 595 z późn. zm.), to znaczy – stanowi oryginalne rozwiązanie problemu naukowego oraz wykazuje ogólną wiedzę teoretyczną kandydata w dyscyplinie naukowej inżynieria lądowa i transport, a także umiejętność samodzielnego prowadzenia pracy naukowej przez Doktoranta. W konsekwencji wnioskuję o dopuszczenie jej do publicznej obrony.

dr hab. inż. Ireneusz Wyczałek, prof. PP

Wydział Inżynierii Lądowej i Transportu, Politechnika Poznańska